动 物 学 研 究 2007, Aug. 28 (4): 367 - 373　　CN 53 - 1040/Q　ISSN 0254 - 5853
Zoological Research

甘肃天水麦积山风景名胜区土壤纤毛虫的物种多样性

宁应之*，王　娟，刘　娜，马正学，程　晓
（西北师范大学 生命科学学院，兰州　730070）

摘要：用活体观察和固定染色方法对麦积山风景名胜区土壤纤毛虫物种多样性进行了研究。共鉴定到隶属于3纲12目41科55属的土壤纤毛虫115种，其中包括11个未定名种和26个中国土壤纤毛虫新纪录种。街子温泉景区、曲溪景区、麦积山石窟区、石门山和仙人崖景区各分布有47、46、44、33和26种，大弹跳虫、似织毛虫、膨大肾形虫、僧帽肾形虫、迅捷肾形虫、吻四膜虫、长刀口虫和苔藓刀口虫为广布物种。前口目和下毛目为风景名胜区土壤纤毛虫群落中的优势类群，肾形目和盾纤目为次优势类群，侧口目、吸管目和寡毛目为罕见类群。风景名胜区土壤纤毛虫物种多样性与我国已有研究报道的其他地区的均极不相似。研究结果表明，风景名胜区土壤纤毛虫物种十分丰富，特有和稀有物种繁多，群落结构复杂而特殊；土壤和水生纤毛虫群落物种组成极不相似，土壤和水生纤毛虫群落是不同的2个独立群落。

关键词：麦积山风景名胜区；土壤纤毛虫；物种多样性
中图分类号：Q959.116　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：0254-5853(2007)04-0367-07

Species Diversity of Soil Ciliates in Scenic Spots and Historic Sites of Maijishan, Tianshui, Gansu

NING Ying-zhi*, WANG Juan, LIU Na, MA Zheng-xue, CHENG Xiao
(*College of Life Sciences, Northwest Normal University, Lanzhou*　730070, *China*)

Abstract: The species diversity of soil ciliates in scenic spots and Historic Sites of Maijishan was studied by observation *in vivo*, fixation and staining. One hundred and fifteen species of soil ciliates were identified, including eleven unnamed species and twenty-six new records of soil ciliates in China, belonging to three classes, twelve orders, forty-one families and fifty-five genera. There were forty-seven, forty-six, forty-four, thirty-three and twenty-six species respectively distributed in Jiezi Wenquan, Quxi Jingqu, Maijishan Shikuqu, Shimenshan Jingqu and Xianrenai Jingqu, and *Halteria grandinella*, *Histriculus similis*, *Colpoda inflata*, *C. cucullus*, *C. fastigata*, *Tetrahymena rostrata*, *Spathidium procerum* and *Spathidium muscicola* were widely distributed species. Of which, Prostomatida and Hypotrichida were dominant groups, Colpodida and Scuticociliatida subdominant groups and Pleurostomatida, Suctorida and Oligotrichida incidental groups in the soil ciliate community. The species diversity of soil ciliates in the Scenic Spots and Historic Sites of Maijishan was quite dissimilar to that in other areas of China according to the reported results of relevant studies. This study showed that there were abundant species and a large number of endemic and rare species of soil ciliates in the Scenic Spots and Historic Sites of Maijishan, and their community was complex and unique. The species composition of soil and aquatic ciliate communities in the Scenic Spots and Historic Sites of Maijishan were quite dissimilar, indicating that the soil and aquatic ciliate community belonged to two independent communities.

Key words: Scenic Spots and Historic Sites of Maijishan; Soil ciliates; Species diversity

土壤纤毛虫作为土壤生态系统微型生物群落(microbiota community)的重要组成部分，和土壤微生物一样，在土壤生态系统的物质循环和能量流动中发挥着重要作用。此外，由于土壤纤毛虫具有对环境变化十分敏感的特点，因而可以用土壤纤毛虫的环境效应参数来评价、监测和预报土壤环境的变化。还可通过其生存竞争作用、直接摄食作用和分泌作用对某些土壤有害细菌和真菌进行生物学控制。

* 收稿日期：2007-03-20；接受日期：2007-05-25
基金项目：中国国家自然科学基金资助项目(30470208)；天水市申报世界遗产办公室资助项目
* 通讯作者(Corresponding author)，E-mail：ningyz@nwnu.edu.cn

我国土壤纤毛虫物种多样性的研究起步较晚，代表性的工作见于 Shen et al（1992）；Song（1994a，b）；Ning & Shen（1998b，1999a，b，2000a，b）；Shen & Ning（2000）。其中，很少涉及西北地区，占全国国土总面积32.20%的西北地区的绝大多数土壤生态系统中纤毛虫的物种多样性研究尚属空白。作者于2003年4月至2006年12月，对甘肃天水麦积山风景名胜区土壤纤毛虫的物种多样性进行了研究。

1 材料和方法

1.1 麦积山风景名胜区概况

麦积山风景名胜区是国务院首批公布的44个国家级重点风景名胜区之一，位于秦岭山地西段小陇山林区，34°07′—34°28′ N、105°56′—106°10′ E之间。北邻渭水，东携嘉陵。风景名胜区由麦积山石窟区、曲溪、石门山、街子温泉和仙人崖5个景区组成，面积约500 km^2。

风景名胜区的土壤以大面积的山地棕壤为主，属于秦岭山山地温带针阔混交林淋溶土壤，pH值大多在7.0左右。

1.2 采样点设置和采样

在风景名胜区的5个景区依据植被类型共设置19个采样点（图1）。在每个样点面积约400 m^2 的范围内，用15 mL圆筒形采样器依棋盘式采样法采集0—5 cm土壤层的土样25个并进行相关记录（Ning & Shen，1996，1998a）。

1.3 室内工作方法

1.3.1 样品预处理 土样带回实验室后，倒入白瓷盘，自然风干。在此过程中，紧闭门窗并用透气草纸覆盖土样，以防止外界空气中的纤毛虫包囊进入土样。

1.3.2 培养和鉴定 每份风干土样取10—50 g置于培养皿中，采用"非淹没培养皿法"（Foissner，1992）将其置于光照培养箱中在25℃左右的温度下进行培养。培养后第4天开始镜检以鉴定物种。每份土样重复培养若干次，直到未检出新见物种为止。

鉴定技术包括活体观察和染色制片。物种鉴定资料见 Berger（1999）；Foissner（1980，1981，1982，1986，1993，1995，1997a，b，1998）；Foissner et al（2002）；Shen & Ning（2000）。固定染色方法见 Fernandez-Galiano（1976）；Song & Xu（1994）；Wilbert（1975）。

1.3.3 数据统计和分析及优势类群和罕见类群划分

（1）相似性系数计算。用 Jaccard 相似性系数公式 $J = c/a + b - c$（Jaccard，1901，1908）计算相似性系数，式中a、b、c分别为a地物种数、b地物种数和a、b两地共有物种数。J 值在0—0.25范围内为极不相似，在0.25—0.5范围内为中等不相似，在0.5—0.75范围内为中等相似，在0.75—1.0范围内为极为相似。

（2）聚类分析。运用SPSS11.5软件。

（3）优势类群和罕见类群划分。对鉴定到的各级分类单元及物种进行统计，将物种数最多的2个目（order）定义为优势类群，将物种数次多的2个目定义为次优势类群，将单种的目定义为罕见类群。

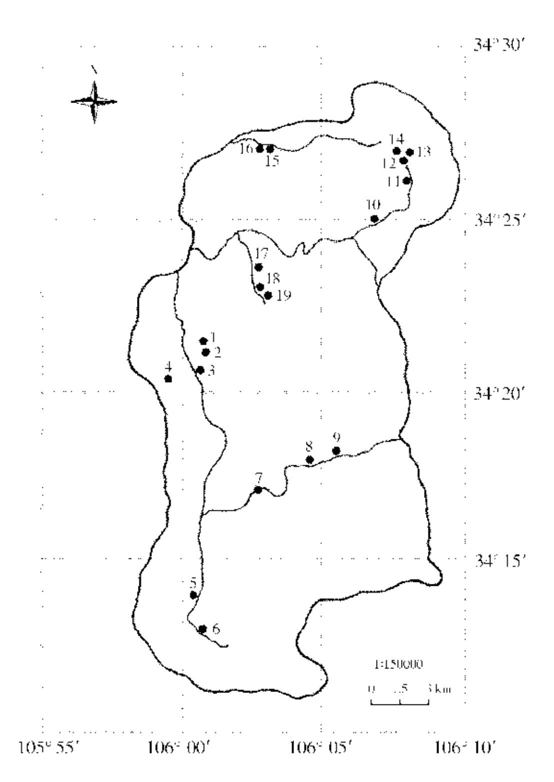


图1 麦积山风景名胜区土壤纤毛虫采样点

Fig. 1 Sampling sites of soil ciliates

麦积山石窟区（Maijishan Shikuqu）：1 植物园（Zhiwuyuan）；2 苍龙岭（Canglongling）；3 香积山（Xiangjishan）。**曲溪景区**（Quxi Jingqu）：4 土桥分水岭（Tuqiao Fenshuiling）；5 青龙山（Qinglongshan）；6 冷水河口山楂工区（Lengshuihekou Shanzha Gongqu）；7 朱洞子沟（Zhudongzigou）；8 麻松头（Masongtou）；9 下寺沟（Xiasigou）。**石门山景区**（Shimenshan Jingqu）：10 放马滩（Fangmatan）；11 木箕滩（Mujitan）；12 石门南山脚（Shimennanshanjiao）；13 石门南山腰（Shimen Nanshanyao）；14 石门分水岭（Shimen Fenshuiling）。**街子温泉景区**（Jieziwenquan Jingqu）：15 温家峡（Wenjiaxia）；16 温泉沟（Wenquangou）。**仙人崖景区**（Xianrenai Jingqu）：17 仙人崖沼泽（Xianrenai Zhaoze）；18 王家大沟 I（Wangjiadagou I）；19 王家大沟 II（Wangjiadagou II）。图中粗线示麦积山风景名胜区界线，细线示采样路线（Heavy line symbolized the border of the Scenic Spots and Historic Sites of Maijishan，hairlines symbolized the sampling route）。

表 1　麦积山风景名胜区土壤纤毛虫物种

Tab. 1　List of soil ciliate species in the Scenic Spots and Historic Sites of Maijishan

团睥睨虫 *Askenasia volvox* (Eichwald, 1852) Kahl, 1930 ◆	楔形双膜虫 *D. cuneiforme* Schewiakoff, 1893
长刀口虫 *Spathidium procerum* Kahl, 1930	凹扁前口虫 *Frontonia depressa* (Stokes, 1886) Kahl, 1931
长尾刀口虫 *S. longicaudatum* (Buitkamp and Wilbert, 1974)	尖锐前口虫 *F. acuminata* Ehrenberg, 1833 ◆
刀口虫属一种 *S.* sp1 ◇	吻四膜虫 *Tetrahymena rostrata* (Kahl, 1926) Corliss, 1952
刀口虫属一种 *S.* sp2 ◇	狸藻睫杵虫 *Ophryoglena utriculariae* Kahl, 1931 ◆
棍刀口虫 *S. claviforme* Kahl, 1930	长圆膜袋虫 *Cyclidium oblongum* Kahl, 1931
绿色刀口虫 *S. viride* Penard, 1922 ◆	瓜形膜袋虫 *C. citrullus* Cohn, 1865
苔藓刀口虫 *S. muscicola* Kahl, 1930	居中膜袋虫 *C. centrale* Smith, 1897 ◆
鱼形刀口虫 *S. porculus* Penard, 1922 ◆	膜袋虫属一种 *C.* sp. ◇
胃形斜口虫 *Enchelys gasterosteus* Kahl, 1926	瞬目膜袋虫 *C. glaucoma* Müller, 1773
吻瓶口虫 *Lagynophrya rostrata* Kahl, 1927	似膜袋虫 *C. simulans* Kahl, 1928 ◆
锥形瓶口虫 *L. conifera* Kahl, 1930 ◆	苔藓膜袋虫 *C. muscicola* Kahl, 1931
卑怯管叶虫 *Trachelophyllum pusillum* Perty-Claparède & Lachmann, 1858	被发袋虫 *Cristigera vestita* Kahl, 1928 ◆
扭曲管叶虫 *T. sigmoides* Kahl, 1926	小发袋虫 *C. minuta* Kahl, 1928 ◆
智利管叶虫 *T. chilense* Bürger, 1906	游溢纤袋虫 *Histiobalantium natans* (Claparède and Lachmann, 1858)
蠕形管形虫 *Phialina vermicularis* (Müller-Ehrenberg, 1831) ◆	纺锤康纤虫 *Cohnilembus fusiformis* Kahl, 1926
锥形管形虫 *P. coronata* (Claparède and Lachmann, 1858) ◆	珍珠映毛虫 *Cinetochilum margaritaceum* (Ehrenberg, 1831) Perty, 1849
鹅长颈虫 *Dileptus anser* Müller, 1786 ◆	卵形嗜腐虫 *Sathrophilus oviformis* (Kahl, 1926) Corliss, 1960
美洲长颈虫 *D. americanus* Kahl, 1931	苔藓嗜腐虫 *S. muscorum* (Kahl, 1931) Corliss, 1960
简裸口虫 *Holophrya simplex* Schewiakoff, 1893	椭圆嗜腐虫 *S. ovatus* (Kahl, 1926) Corliss, 1960
腔裸口虫 *H. atra* Svec, 1897	独缩虫属一种 *Carchesium* sp. ◇
陆生拟裸口虫 *Pseudoholophrya terricola* Berger et al., 1984	八钟虫 *Vorticella octava* Stokes, 1885 ◆
武装尾毛虫 *Uratricha armata* Kahl, 1927	杯钟虫 *V. cupifera* Kahl, 1935 ◆
前管虫属一种 *Prorodon* sp. ◇	星状钟虫 *V. astyliformis* Foissner, 1981
龙骨漫游虫 *Litonotus carinatus* Stokes, 1885	盖虫属一种 *Opercularia* sp. ◇
背沟肾形虫 *Colpoda henneguyi* Fabre-Domergue, 1888	梅氏扁豆虫 *Phacodinium metchnikoffi* (Certes, 1891) Prowazek, 1900
齿脊肾形虫 *C. steini* Maupasm, 1883	小旋口虫 *Spirostomum minus* Roux, 1901
盘状肾形虫 *C. patella* Kahl, 1931	透明赭虫 *Blepharisma hyalinum* Perty, 1852
裴氏肾形虫 *C. penardi* Kahl, 1931 ◆	赭虫属一种 *B.* sp1 ◇
膨大肾形虫 *C. inflata* (Stokes, 1885) Kahl, 1931	赭虫属一种 *B.* sp2 ◇
僧帽肾形虫 *C. cucullus* Müller, 1773	泥炭藓苔扭虫 *Bryometopus sphagni* (Penard, 1922) Kahl, 1932
肾状肾形虫 *C. reniformis* Kahl, 1931	拟斜管苔扭虫 *B. pseudochilodon* Kahl, 1932 ◆
似肾形虫 *C. simulans* Kahl, 1931	扭头虫属一种 *Metopus* sp. ◇
无规肾形虫 *C. irregularis* Kahl, 1931	透明扭头虫 *M. hyalinus* Kahl, 1932
迅捷肾形虫 *C. fastigata* Kahl, 1931	大弹跳虫 *Halteria grandinella* (Müller, 1773) Dujardin, 1841
直立肾形虫 *C. praestans* Penard, 1922	丛林全列虫 *Holosticha sylvatica* Foissner, 1982
贪食阔庭虫 *Bresslaua vorax* Kahl, 1931	纺锤全列虫 *H. kessleri* Wrzesniowski, 1877
大篮环虫 *Cyrtolophosis major* Kahl, 1935	绿全列虫 *H. viridis* Kahl, 1932 ◆
贪食匙口虫 *Platyophrya vorax* Kahl, 1926	全列虫属一种 *H.* sp. ◇
狭匙口虫 *P. angusta* Kahl, 1926	乙状全列虫 *H. sigmoidea* Foissner, 1982
苔藓篮口虫 *Nassula muscicola* Kahl, 1931 ◆	尾瘦尾虫 *Uroleptus caudatus* Stokes, 1886
大口薄咽虫 *Leptopharynx eurostoma* Kahl, 1931	衣鱼瘦尾虫 *U. lepisma* (Wenzel, 1953)
水藓薄咽虫 *L. sphagnetorum* Levander, 1900	鱼形瘦尾虫 *U. halseyi* Calkins, 1929 ◆
凹缝小胸虫 *Microthorax sulcatus* Engelmann, 1861 ◆	念珠角毛虫 *Keronopsis monilata* (Kahl, 1928) ◆
相似小胸虫 *M. simulans* Kahl, 1926	活动恩氏虫 *Engelmanniella mobilis* (Engelmann, 1862) Foissner, 1982
钝单镰虫 *Drepanomonas obtusa* Penard, 1922	刚毛尖毛虫 *Oxytricha setigera* Stokes, 1891
旋转单镰虫 *D. revoluta* Penard, 1922	伪尖毛虫 *O. fallax* Stein, 1859
巴维利亚斜管虫 *Chilodonella barvariensis* Kahl, 1931	小尖毛虫 *O. minor* Kahl, 1932
葛粤斜管虫 *C. gouraudi* (Certes, 1891) ◆	似织毛虫 *Histriculus similis* (Quennerstedt, 1867)
钩刺斜管虫 *C. uncinata* Ehrenberg, 1838	苔藓织毛虫 *H. muscorum* (Kahl, 1932) Corliss, 1960
膨胀斜管虫 *C. turgidula* Penard, 1922	赫弈宽口虫 *Steinia candens* Kahl, 1932
食藻斜管虫 *C. algivora* Kahl, 1931 ◆	皮速体虫 *Tachysoma pellionellum* (Müller, 1773) Borror, 1972
莫氏足吸管虫 *Podophrya maupasi* Bütschli, 1889 ◆	弯棘尾虫 *Stylonychia curvata* Kahl, 1932 ◆
大口瞬目虫 *Glaucoma macrostoma* Schewiakoff, 1889	近缘殖口虫 *Gonostomum affine* (Stein, 1859) Sterki, 1878
前口瞬目虫 *G. frontata* (Stokes, 1886) Kahl, 1931	殖口虫属一种 *G.* sp. ◇
闪瞬目虫 *G. scintillans* Ehrenberg, 1830	锐利楯纤虫 *Aspidisca lynceus* (Müller, 1773) Ehrenberg, 1830
苔藓拟瞬目虫 *Pseudoglaucoma muscorum* Kahl, 1931	苔藓游仆虫 *Euplotes muscicola* Kahl, 1932
极口双膜虫 *Dichilum platessoides* Fauré-Fremiet, 1924	

◇ 示未定名种，◆ 示国内土壤纤毛虫新纪录种（◇ Unnamed species，◆ New records of soil ciliates in China）。

2 结 果

2.1 纤毛虫物种和群落结构

在风景名胜区各景区的土壤中共鉴定到纤毛虫115种（表1），隶属于3纲12目41科55属（表2）。115种纤毛虫中，计有未定名种11种，国内土壤纤毛虫新纪录种26种（表1）。

从群落结构来看，动基片纲物种最为丰富，计有53种，其次是多膜纲，有32种，寡膜纲物种相对较少，有30种。前口目和下毛目为优势类群，各有24种和22种，分别占纤毛虫物种总数的20.87%和19.13%；肾形目和盾纤目为次优势类群，各有15种，各占纤毛虫物种总数的13.04%；侧口目、吸管目和寡毛目为罕见类群，均为单科、单属、单种，3个类群的物种数只占纤毛虫物种总数的2.61%。

2.2 物种分布

115种土壤纤毛虫在各景区的分布情况见图2。可以看出，街子温泉景区物种最为丰富，分布有47种，占物种总数的40.87%；曲溪景区46种，占40%；麦积山石窟区44种，占38.26%；石门山和仙人崖景区各分布有33种和26种，分别占28.70%和22.61%。

用SPSS软件对115种土壤纤毛虫在各景区的分布情况进行聚类，在欧氏距离16.0水平截取，115种纤毛虫聚为3组，A组37种，为分布频率为0.4—0.6的常见种；B组70种，为分布频率为0.2的罕见种；C组8种，为分布频率为0.8—1.0的广布种。大弹跳虫、似织毛虫、膨大肾形虫、僧帽肾形虫、迅捷肾形虫、吻四膜虫、长刀口虫和苔藓刀口虫为风景名胜区土壤纤毛虫群落中的广布种。

2.3 麦积山风景名胜区土壤与水生纤毛虫群落物种多样性的比较

作者在研究风景名胜区土壤纤毛虫物种多样性的同时，对该地区的水生纤毛虫物种多样性也进行了研究，共鉴定到水生纤毛虫133种（结果待报道）。经比较发现该地区内土壤与水生纤毛虫群落的共有物种有43种（表3）。据Jaccard相似性系数公式计算得知，土壤与水生纤毛虫群落的相似性系数为0.21，表明土壤和水生纤毛虫群落物种组成极不相似。

3 讨 论

研究结果表明，麦积山风景名胜区土壤纤毛虫物种多样性具有鲜明的独特性，体现在：

（1）物种十分丰富，特有和稀有物种繁多，群落结构复杂而特殊。通过与我国其他地区土壤纤毛虫物种（Ning & Shen，1998b，2000b；Shen et al，1992；

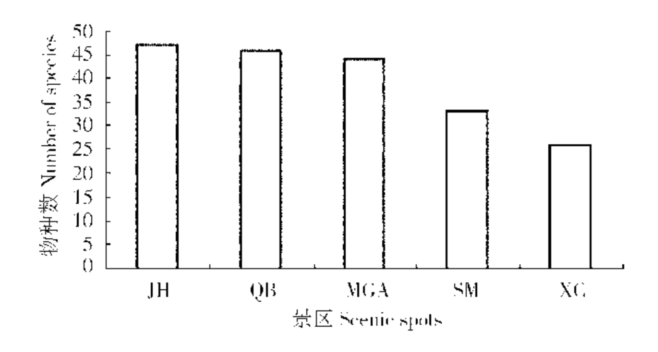


图2 土壤纤毛虫物种在各景区的分布

Fig. 2 Distribution of species of soil ciliates in various scenic spots

JH：街子温泉景区（Jiezi Wenquan Jingqu）；QB：曲溪景区（Quxi Jingqu）；MGA：麦积山石窟区（Maijishan Shikuqu）；SM：石门山景区（Shimenshan Jingqu）；XC：仙人崖景区（Xianrenai Jingqu）

表2 麦积山风景名胜区土壤纤毛虫群落结构

Tab. 2 Community structure of soil ciliates in the Scenic Spots and Historic Sites of Maijishan

门 Phylum	纲 Class	目 Order	科 Family	属 Genus	种 Species
纤毛门 Ciliophora	动基片纲 Kinetofragminophorea	前口目 Prostomatida	10	11	24
		侧口目 Pleurostomatida	1	1	1
		肾形目 Colpodida	3	4	15
		篮口目 Nassulida	2	4	7
		管口目 Cyrtophorida	1	1	5
		吸管目 Suctorida	1	1	1
	寡膜纲 Oligohymenophorea	膜口目 Hymenostomatida	4	6	10
		盾纤目 Scuticociliatida	4	6	15
		缘毛目 Peritrichida	2	3	5
	多膜纲 Polyhymenophorea	异毛目 Heterotrichida	5	5	9
		寡毛目 Oligotrichida	1	1	1
		下毛目 Hypotrichida	7	12	22

表 3 麦积山风景名胜区土壤与水生纤毛虫群落的共有物种（水生纤毛虫物种待报道）

Tab. 3 The common species between soil and aquatic ciliate community in the Scenic Spots and Historic Sites of Maijishan（species of aquatic ciliates are waiting to be reported）

卑怯管叶虫 *Trachelophyllum pusillum*	卵形嗜腐虫 *Sathrophilus oviformis*	苔藓拟瞬目虫 *Pseudoglaucoma muscorum*
长圆膜袋虫 *Cyclydium oblongum*	念珠角毛虫 *Keronopsis monilata*	苔藓游仆虫 *Euplotes muscicola*
齿脊肾形虫 *Colpoda steini*	扭曲管叶虫 *Trachelophyllum sigmoides*	苔藓织毛虫 *Histriculus muscorum*
大弹跳虫 *Halteria grandinella*	裴氏肾形虫 *Colpoda penardi*	贪食匙口虫 *Platyophrya vorax*
大口薄咽虫 *Leptopharynx eurostoma*	皮速体虫 *Tachysoma pellionellum*	团睥睨虫 *Askenasia volvox*
大口瞬目虫 *Glaucoma macrostoma*	腔裸口虫 *Holophrya atra*	椭圆嗜腐虫 *Sathrophilus ovatus*
纺锤康纤虫 *Cohnilembus fusiformis*	锐利楯纤虫 *Aspidisca lynceus*	弯棘尾虫 *Stylonychia curvata*
纺锤全列虫 *Holosticha kessleri*	闪瞬目虫 *Glaucoma scintillans*	伪尖毛虫 *Oxytricha fallax*
钩刺斜管虫 *Chilodonella uncinata*	食藻斜管虫 *Chilodonella algivora*	吻四膜虫 *Tetrahymena rostrata*
瓜形膜袋虫 *Cyclydium citrullus*	水藓薄咽虫 *Leptopharynx sphagnetorum*	相似小胸虫 *Microthorax simulans*
赫奕宽口虫 *Steinia candens*	瞬目膜袋虫 *Cyclydium glaucoma*	楔形双膜虫 *Dichilum cuneiforme*
极口双膜虫 *Dichilum platessoides*	似膜袋虫 *Cyclydium simulans*	游溢纤袋虫 *Histiobalantium natans*
近缘殖口虫 *Gonostomum affine*	苔藓刀口虫 *Spathidium muscicola*	珍珠映毛虫 *Cinetochilum margaritaceum*
居中膜袋虫 *Cyclydium centrale*	苔藓膜袋虫 *Cyclydium muscicola*	智利管叶虫 *Trachelophyllum chilense*
龙骨漫游虫 *Litonotus carinatus*		

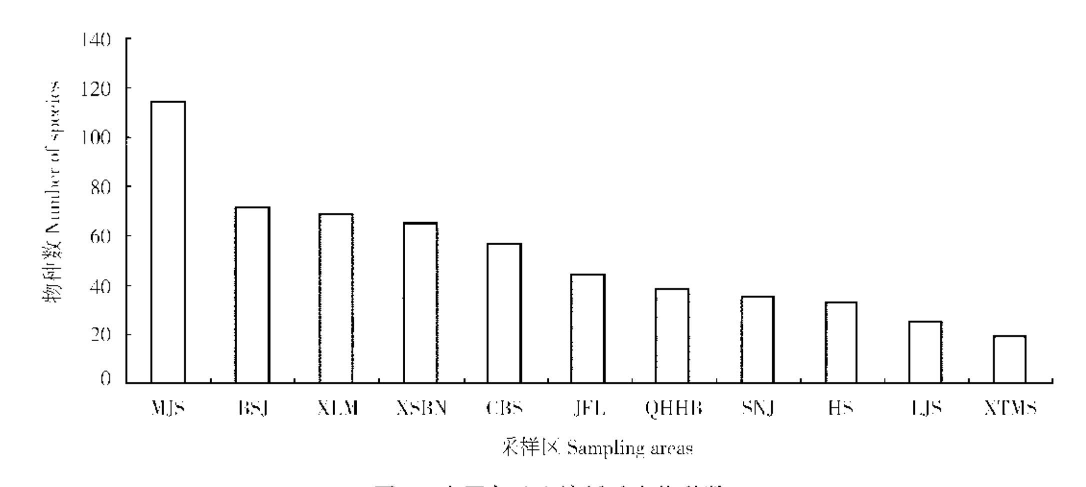


图 3 全国各地土壤纤毛虫物种数

Fig. 3 Number of species of soil ciliates distributed in various areas of China

MJS：麦积山风景名胜区（the Scenic Spots and Historic Sites of Maijishan，Gansu）；BSJ：白水江自然保护区（National Nature Reserve of Baishuijiang，Gansu）；XLM：北京小龙门（Xiaolongmen，Beijing）；XSBN：云南西双版纳（Xishuangbanna，Yunnan）；CBS：吉林长白山（Changbaishan，Jilin）；JFL：海南尖峰岭（Jianfengling，Hainan）；HB：青海海北（Haibei，Qinghai）；SNJ：湖北神农架（Shennongjia，Hubei）；HS：湖南衡山（Hengshan，Hunan）；LJS：湖北珞珈山（Luojiashan，Hubei）；XTMS：浙江西天目山（Xitianmushan，Zhejiang）。

Shen & Ning，2000）及白水江自然保护区土壤纤毛虫物种（结果待报道）进行比较可以看出，麦积山风景名胜区土壤纤毛虫物种比我国其他各地的都要丰富得多（图 3）。

115 种土壤纤毛虫中，未定名种和新纪录种合计占纤毛虫物种总数的 32.17%，表明麦积山风景名胜区土壤中分布着为数众多的纤毛虫特有和稀有物种。

麦积山风景名胜区土壤纤毛虫群落结构相当复杂，包含 3 纲 12 目 41 科 55 属 115 种。

表 4 给出的是根据 Jaccard 相似性系数公式计算得到的麦积山风景名胜区与我国其他地区土壤纤毛虫物种多样性（Ning & Shen，1998b，2000b；Shen et al，1992；Shen & Ning，2000）的相似性系数。可以看出，相似性系数均在 0—0.25 范围内，表明风景名胜区与这些地区的土壤纤毛虫物种多样性均极不相似，具有鲜明的独特性。

环境的复杂性和独特性是丰富而独特的生物多样性的基础。麦积山风景名胜区自然环境的高度时空异质性孕育了丰富而独特的土壤纤毛虫物种多样性。该地区在大地构造框架上处于秦岭—祁连—昆仑构造带与贺兰—川滇南北构造带的交接复合部位，形成了自然地理和地质地貌的独特性和复杂性，这种独特性和复杂性导致其陆地生态环境特殊而复杂，从而为该地区的土壤纤毛虫物种多样性向

表 4 麦积山风景名胜区与中国其他地区土壤纤毛虫物种多样性的相似性

Tab. 4 Similarity of species diversity of soil ciliates between the Scenic Spots and Historic Sites of Maijishan and other areas of China

地区 Areas	物种数 Number of species	与麦积山风景名胜区共有物种数 Number of common species with the Scenic Spots and Historic Sites	相似性系数 Similarity index
湖北神农架（Shen & Ning，2000）Shennongjia，Hubei	35	14	0.103
浙江西天目山（Shen & Ning，2000）Xitianmushan，Zhejiang	19	13	0.107
湖北武昌珞珈山（Shen & Ning）Luojiashan，Hubei	25	17	0.138
青海海北（Shen & Ning）Haibei，Qinghai	38	20	0.150
湖南衡山（Shen & Ning）Hengshan，Hunan	33	21	0.165
海南尖峰岭（Shen & Ning）Jianfengling，Hainan	45	27	0.203
北京小龙门（Shen & Ning）Xiaolongmen，Beijing	68	34	0.228
吉林长白山（Shen & Ning）Changbaishan，Jilin	57	33	0.237
白水江自然保护区（结果待报道）The national nature reserve of Baishuijiang，Gansu（results waiting to be reported）	71	36	0.24
云南西双版纳（Shen & Ning）Xishuangbanna，Yunnan	65	36	0.25

复杂性和特殊性方面发展创造了有利条件。风景名胜区植被类型复杂，有针叶林、阔叶林、草原、灌丛、草甸、沼泽和水生植被等 7 个植被组及相关的 17 个植被类型和 59 个植被群系；土壤以大面积的山地棕壤为主，属于秦岭山山地温带针阔混交林淋溶土壤，pH 值大多在 7.0 左右，持水透气性能好，自然肥力高；复杂的植被土壤复合系统是土壤纤毛虫群落高度发育和发展的最直接因素。此外，麦积山风景名胜区丰富而独特的土壤纤毛虫物种多样性与历史因素和群落边缘效应也有密切的关系。该地区在第四纪没有受到冰川作用的影响，土壤纤毛虫群落有足够的时间发展而呈现出高度复杂性和独特性。此区域地处南北气候过渡带、长江黄河水系过渡带、多种地形地貌过渡带和南北生物区系过渡带，属于典型的生物群落交错区，因而呈现出其土壤纤毛虫物种多样性的高度丰富且独特。

（2）土壤和水生纤毛虫群落是不同的 2 个独立群落。目前被普遍接受的观点为，土壤纤毛虫群落起源于淡水，并由淡水中的迁徙者进化形成（Bamforth，1973；Foissner，1987；Ghilarov，1978；Stout，1984）。由于生存环境迥然相异，土壤和水体中的纤毛虫各自独立地向着适应土壤和水体环境的方向发展，因而即使是在同一地区，土壤和水生纤毛虫群落的物种组成也存在很大差异。麦积山风景名胜区的土壤和水生纤毛虫群落虽然同居于一个大的地理区域内，但事实上是 2 个在物种组成上存在很大差异的独立群落。

致谢：西北师范大学生命科学学院李更、朱军、茹辉军、王国铭、王振杰、永金红、王 宁、陈延斌等参与了本研究的部分工作。甘肃天水麦积山申报世界遗产办公室王庆田、于小林同志参加了野外采样工作。西北师范大学生命科学学院梁万福老师对本研究工作给予了大力支持和帮助。甘肃省小陇山林业实验局及其下属的麦积林场、党川林场、观音林场，麦积山风景名胜区管理局和麦积山石窟艺术研究所为本研究的野外工作提供了大量方便。作者谨此向以上单位和个人表示诚挚的谢意。

参考文献：

Bamforth SS. 1973. Population dynamics of soil and vegetation protozoa [J]. *Am Zool*, **13**: 171-176.

Berger H. 1999. Monograph of the Oxytrichidae (Ciliophora, Hypotrichia) [A]. In: Dumont HJ, Werger MJA. Monographiae Biologicae [M]. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, **78**: 1-1079.

Fernandez-Galiano D. 1976. Silver impregnation of ciliated protozoa: Procedure yielding good results with the pyridinated carbonate method [J]. *Trans Am Microsc Soc*, **95**: 557-560.

Foissner W. 1980. Colpodide (Protozoa, Ciliophora) aus alpinen Böden [J]. *Zool Jb Syst*, **107**: 391-432.

Foissner W. 1981. Morphologie und Taxonomie einiger neuer and wenig bekannter kinetofragminophorer ciliaten (Protozoa, Ciliophora) aus alpine Böden [J]. *Zool Jb Syst*, **108**: 264-297.

Foissner W. 1982. Ökologie und Taxonomie der Hypotrichida (Protozoa: Ciliophora) einiger österreichischer Böden [J]. *Arch Protistenk*, **126**: 19-143.

Foissner W. 1986. Beitrag zur Kenntnis der Bodenciliaten (Protozoa: Ciliophora) des Himalaja [J]. *Zool Jb Syst*, **113**: 45-53.

Foissner W. 1987. Soil protozoa: Fundamental problems, ecological significance, adaptations in ciliates and testaceans, bioindicators, and

guide to the literature [J]. *Progress in Protistology*, **2**: 69–212.

Foissner W. 1992. Estimating the species richness of soil protozoa using the "non-flooded petri dish method" [A]. In: Lee JJ, Soldo AT. Protocols in Protozoology [M]. Lawrence: Allen Press, B-10.1–B-10.2.

Foissner W. 1993. Colpodea (Ciliophora) [M]. Stuttgart: Gustav Fischer Verlag, 1–798.

Foissner W. 1995. Tropical protozoan diversity: 80 ciliates species (Protozoa, Ciliophora) in a soil sample from a tropical dry forest of Costa Rica, with description of four new genera and seven new species [J]. *Arch Protistenk*, **145**: 37–79.

Foissner W. 1997a. Soil ciliates (Protozoa: Ciliophora) from evergreen rain forests of Australia, South America and Costa Rica: Diversity and description of new species [J]. *Biol Fertil Soils*, **25**: 317–339.

Foissner W. 1997b. Global soil ciliate (Protozoa, Ciliophora) diversity: A probability-based approach using large sample collectives from Africa, Australia, and Antarctica [J]. *Biodiv Concerv*, **6**: 1627–1638.

Foissner W. 1998. An updated compilation of world soil ciliates (Protozoa, Ciliophora), with ecological notes, new records, and descriptions of new species [J]. *Europ J Protistol*, **34**: 195–235.

Foissner W, Agatha S, Berger H. 2002. Soil ciliates (Protozoa, Ciliophora) from Namibia (Southwest Africa), with emphasis on two contrasting environments, the Etosha Region and the Namib Desert. part I and part II [J]. *Denisia*, **5**: 1–1459.

Ghilarov MS. 1978. Bodenwirbellose als Indikatoren des Bodenhaushaltes und von bodenbildenden Prozessen [J]. *Pedobiologia*, **18**: 300–309.

Jaccard P. 1901. Distribution de la flore alpine dans le Bassin des Dranses et dams quelque region vasines [J]. *Bull Soc Vaud Sci Nat*, **37**: 241–272.

Jaccard P. 1908. Nouvelles recherches sur la distribution florale [J]. *Bull Soc Vaud Sci Nat*, **44**: 223–270.

Ning YZ, Shen YF. 1996. Ecological studies on the forest soil protozoa of Mount Luojiashan and exploration of quantitative methods for soil protozoa [J]. *Zool. Res.*, **17** (3): 225–232. [宁应之，沈韫芬. 1996. 珞珈山森林土壤原生动物生态学研究及土壤原生动物定量方法探讨. 动物学研究，**17** (3): 225–232.]

Ning YZ, Shen YF. 1998a. Collection of soil protozoa [A]. In: The Writing Group of A Handbook for the Research Methods of Soil Animals. A Handbook for the Research Methods of Soil Animals [M]. Beijing: Chinese Forestry Publishing House, 56–57. [宁应之，沈韫芬. 1998. 土壤原生动物的采集. 见：土壤动物研究方法手册编写组. 土壤动物研究方法手册. 北京：中国林业出版社，56–57.]

Ning YZ, Shen YF. 1998b. Soil protozoa in typical zones of China: I. Faunal characteristics and distribution of species [J]. *Acta Zoologica Sinica*, **44** (1): 5–10. [宁应之，沈韫芬. 1998b. 中国典型地带土壤原生动物：I. 区系特征和物种分布. 动物学报，**44** (1): 5–10.]

Ning YZ, Shen YF. 1999a. Species of protozoa first recorded in Chinese soils (Ciliophora: Polyhymenophorea, Hypotrichida) [A]. In: China Zoological Society. Zoological Studies in China [C]. Beijing: Chinese Forestry Publishing House, 156–160. [宁应之，沈韫芬. 1999a. 中国土壤原生动物新记录种（纤毛虫门：多膜纲，下毛目）. 见：中国动物学会. 中国动物科学研究. 北京：中国林业出版社，156–160.]

Ning YZ, Shen YF. 1999b. Species of protozoa first recorded in Chinese soils (Ciliophora: Oligohymenophorea) [J]. *Chinese Journal of Zoology*, **34** (6): 2–4. [宁应之，沈韫芬. 1999b. 中国土壤原生动物新记录种（纤毛虫门：寡膜纲）. 动物学杂志，**34** (6): 2–4.]

Ning YZ, Shen YF. 2000a. New records of protozoa species first recorded in Chinese soils (Ciliophora: Polyhymenophorea, Heterotrichida) [J]. *Chinese Journal of Zoology*, **35** (1): 2–4. [宁应之，沈韫芬. 2000a. 中国土壤原生动物新记录种（纤毛虫门：多膜纲，异毛目）. 动物学杂志，**35** (1): 2–4.]

Ning YZ, Shen YF. 2000b. Faunal characteristics of soil protozoa [A]. In: Yin WY et al. Soil Animals of China [M]. Beijing: Science Press, 209–220. [宁应之，沈韫芬. 2000b. 土壤原生动物区系特点. 见：尹文英等. 中国土壤动物. 北京：科学出版社，209–220.]

Shen YF, Liu J, Song BY, Gu MR. 1992. Chapter 5. Protozoa [A]. In: Yin WY et al. Subtropical Soil Animals of China [M]. Beijing: Science Press, 97–156. [沈韫芬，刘　江，宋碧玉，顾曼如. 1992. 第五章 原生动物. 见：尹文英等. 中国亚热带土壤动物. 北京：科学出版社，97–156.]

Shen YF, Ning YZ. 2000. Protozoa [A]. In: Yin WY et al. Pictorial Keys to Soil Animals of China [M]. Beijing: Science Press, 24–42, 409–427.

Song WB, Xu KD. 1994. Common methods for morphological studies of ciliated protozoa [J]. *Marine Sciences*, **6**: 6–8. [宋微波，徐奎栋. 1994. 纤毛虫原生动物形态学研究的常用方法. 海洋科学，**6**: 6–8.]

Song WB. 1994a. On two soil ciliates of the genus Dileptus (Ciliophora: Haptorida) [J]. *Acta Zootaxonomic Sinica*, **19** (4): 385–391. [宋微波. 1994a. 长颈虫属两种土壤纤毛虫研究（动基片纲：刺钩目）. 动物分类学报，**19** (4): 385–391.]

Song WB. 1994b. Faunistical studies on some soil ciliates from Qingdao-I. Kinetofragminophora, Oligohymenophora, Colpodea [J]. *Journal of Ocean University of Qingdao*, **24** (1): 15–23. [宋微波. 1994b. 青岛地区土壤纤毛虫区系：I. 动基片纲，寡膜纲，肾形纲. 青岛海洋大学学报，**24** (1): 15–23.]

Stout JD. 1984. The protozoan fauna of seasonally inundated soil under grassland [J]. *Soil Biol Biochem*, **16** (2): 121–125.

Wilbert N. 1975. Eine verbesserte Technik der Protargolimpragnation für Ciliaten [J]. *Mikrokosmos*, **6**: 171–179.